

## **ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТНОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Приведены анализ особенностей реализации основных стадий процессов вакуумной металлизации, плазмохимической обработки полимерных материалов, рекомендации по их практическому применению.

**О**сновным направлением ресурсо- и энерго-сбережения в промышленности является поиск эффективных научно-технических решений, направленных на увеличение ресурса машин, механизмов, технологического оборудования и инструмента. Такой подход определен современным состоянием экономики и промышленности, развитием хозяйственных отношений, а также определенной ограниченностью энергетической и сырьевой базы Республики Беларусь.

Совершенствование технологии получения базовых машиностроительных материалов, создание новых экологически чистых процессов, дающих экономию энергии, сырья, всегда являлось одной из актуальных задач машиностроения, современного материаловедения. В последние годы значительно возрос интерес к разработке новых методов обработки машиностроительных материалов, приводящей к изменению структуры и состава поверхностных слоев, в том числе путем осаждения функциональных покрытий. В числе таких высокоэффективных энерго- и ресурсосберегающих технологий следует отметить вакуумную металлизацию, плазмохимическую обработку, обработку в электрических разрядах, нанесение различных органических покрытий. В результате их использования возможно решение ряда важнейших проблем, в числе которых создание металлизированных пластиков различного назначения, значительное повышение износостойкости рабочих поверхностей трения путем формирования сверхтвердых поверхностных слоев, разработка экологически чистых процессов поверхностной обработки и др. Основные тенденции развития данных методов характеризуются расширением номенклатуры используемых материалов, оптимизацией условий и режимов их реализации, созданием «адресных» технологических процессов, направленных на решение строго определенных технических проблем.

Основная цель данной работы – анализ технологических особенностей реализации отдельных стадий вакуумной металлизации пленочных полимерных материалов, их плазмохимической модификации и обработки в электрических разрядах.

Решение поставленных задач проводилось в результате реализации комплексного подхода, использования различных экспериментальных методов и методик, теоретического анализа и моделирования основных процессов. Поверхностная модификация материалов, нанесение покрытий проводились различными методами: осаждением металлических покрытий резистивным, электродуговым испарением, магнетронным, ионно-плазменным распылением; воздействием на поверхность частиц активной газовой фазы, образованной электронно-лучевым диспергированием органических веществ, обработкой в коронном разряде, химическими методами.

Химический состав покрытий, граничных слоев определялся методами вторичной эмиссионной масс-спектропии (ВЭМС), рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС), ИК-спектроскопии НПВО. С помощью данных методов устанавливался профиль распределения атомов в покрытии и граничных слоях подложки, его изменения при различных условиях и режимах обработки.

Морфологические особенности покрытий изучались методами атомно-силовой (АСМ) и растровой электронной микроскопии (РЭМ).

Анализ основных технико-экономических, экологических показателей технологии поверхностной обработки машиностроительных материалов, нанесения функциональных покрытий показывает, что применение современных (плазменных, электронно-лучевых, лазерных и др.) методов модификации поверхностных слоев, нанесения функциональных покрытий, замена ими традиционных технологий (гальванического осаждения, химических методов обработки) позволяет получить значительную экономию электроэнергии, цветных металлов и, что особенно актуально, практически исключить вредное воздействие на окружающую среду, снизить затраты на очистные и регенерационные сооружения, улучшить условия работы персонала. Так, при нанесении вакуумных защитно-декоративных покрытий на различные изделия при годовом объеме 15000 м<sup>2</sup> достигается экономия

электроэнергии 236000 кВт·ч, цветных металлов 1,3–1,5 т, экономический эффект составляет более 200000 дол. США. На основании результатов анализа определены и обоснованы следующие наиболее перспективные методы поверхностной модификации материалов: вакуумная металлизация; обработка в среде полимеризующихся газов; плазмохимическое аппретирование материалов.

Известные методы вакуумной металлизации материалов: термический, электронно-лучевой, ионно-плазменный, электродуговой, магнетронный – имеют технологические особенности [1–3]. При их использовании вследствие различия в степени ионизации и энергии атомных частиц, мощности тепловых потоков, генерируемых в процессе нанесения покрытия, на поверхностные слои материала подложки оказывается различное воздействие, что в значительной степени определяет структуру и эксплуатационные свойства сформированных систем. Следовательно, изучение физико-химических процессов, протекающих в поверхностных слоях, необходимо при оптимизации технологических процессов, разработке рекомендаций по их совершенствованию.

Анализ особенностей протекания отдельных стадий вакуумной металлизации показывает, что существенное влияние на их кинетику оказывают тепловой режим процесса, метод и параметры активационной обработки поверхности, наличие в потоке высокоэнергетических ионов и атомов [1, 4, 5]. При этом характер влияния, как правило, не является универсальным и зависит от природы полимерной подложки. Особый практический интерес представляет металлизация стеклопластиков, которые характеризуются достаточно низкой теплопроводностью в сравнении с другими полимерами, имеют высокую адсорбционную активность за счет содержания в поверхностных слоях полярных групп. Вместе с тем практически все стеклотекстолиты, имеющие различные связующие, чувствительны к различного рода внешним воздействиям: температурным, радиационным и другим. При взаимодействии с металлами в граничных слоях, как показывает анализ известных результатов исследования адгезионных соединений металл – полимер, возможно протекание контактных химических процессов, диффузии и др. Значительные физико-химические изменения в граничных слоях имеют место и на стадии активационной обработки поверхности подложки, например, химической очистке, воздействии тлеющего разряда. В процессе нанесения металлического покрытия под действием высокоэнергетических атомных частиц может проходить травление поверхности, ее модификация [4, 5]. Так как поверхность стеклопластиков неоднородна, травление, по-видимому, будет носить селективный характер, поэтому контроль и изучение морфоло-

гических изменений необходимы при оптимизации технологии.

В соответствии с вышеизложенным изучение особенностей вакуумной металлизации стеклопластиков должно носить комплексный характер, включать исследования природы и механизма процессов межфазного взаимодействия, их влияния на эксплуатационные свойства тонкопленочных металлополимерных систем. Результаты отдельных известных фрагментарных работ могут быть использованы при решении некоторых частных задач и не позволяют сформулировать общие, научно обоснованные представления о физико-химических закономерностях процесса осаждения металлической пленки на поверхности стеклопластика, технологические рекомендации по оптимизации его проведения.

В процессе активационной обработки полимерных материалов, зародышеобразования металлической фазы и роста покрытия в поверхностных слоях протекают различного рода физико-химические изменения, сказывающиеся, прежде всего, на их структуре, рельефе поверхности.

Электронно-микроскопические исследования показали, что заметные морфологические изменения поверхностных слоев стеклопластика, контактирующих с пленкой металла, наблюдаются при всех способах металлизации. Установлено, что под действием потока атомных частиц происходит травление поверхности, уменьшение высоты микровыступов. При электродуговой металлизации зарегистрировано появление на поверхности достаточно больших по размеру структурных неоднородностей, обусловленных, по-видимому, взаимодействием с поверхностью капель металла, имеющих высокую скорость и образующихся в зоне катодных пятен при горении дугевого разряда. При термическом напылении меди изменения исходной поверхности подложки минимальны в сравнении с другими методами нанесения и обусловлены, как показали расчеты, в основном тепловым разогревом поверхностных слоев. При ионно-плазменной металлизации поверхностные нарушения размером 0,05–0,1 мкм имеют регулярный характер и возрастают с увеличением скорости осаждения металла [5].

Отметим, что структура поверхности тонких металлических покрытий практически совпадает со структурой исходной поверхности. При электродуговом распылении металла при использующихся режимах процесса установлено появление на поверхности покрытия сфероподобных частиц металла, причиной которого, как уже отмечалось выше, является наличие капельной фазы в потоке, генерируемом вакуумной дугой [6]. Практический интерес представляет оценка морфологических изменений, протекающих в поверхностных слоях стеклопластика при их активационной обработке.

Установлено, что наиболее значительные изменения имеют место при травлении диэлектрика в растворе  $K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4$ . В этом случае на поверхности заметно увеличение шероховатости, происходит образование периодических специфических структур травления размером 0,1 мкм. При обработке в плазме тлеющего разряда рельеф поверхности практически не изменяется. Так как при активации тлеющим разрядом наблюдается значительное увеличение адгезионной прочности соединения пленка металла – стеклопластик, можно предположить, что основным фактором, определяющим установленный эффект, являются химические процессы, протекающие в поверхностных слоях: окисление макромолекул, образование электретной структуры. Данные представления согласуются с полученными ранее результатами изучения кинетики осаждения металла на активированных поверхностях полимеров, имеющих различную химическую и электрофизическую структуру [1].

Оценивая особенности морфологии поверхности стеклотекстолита после его активационной обработки и металлизации, следует иметь в виду, что при ионно-плазменном и электродуговом нанесении покрытия под действием высокоэнергетичной компоненты газового (атомарного и ионного) потока, исходящего из распыляемой мишени, на начальных стадиях осаждения слоя меди происходит травление поверхности подложки, которое соизмеримо или же более значительно в сравнении с травлением при проведении активационной обработки [4, 7]. В связи с этим наблюдаемый эффект увеличения адгезионной прочности соединения при использовании активации как отдельной самостоятельной технологической операции объясняется созданием в этом случае условий для удаления в вакуум или раствор низкомолекулярных продуктов, что в итоге повышает когезионную прочность граничного слоя. При травлении поверхности в процессе металлизации образующиеся низкомолекулярные продукты экранируются растущей пленкой и, возможно, даже химически взаимодействуют с атомами меди. Образующийся модифицированный слой более слабо связан с основой, что и определяет уменьшение адгезии системы в целом. В соответствии с данными представлениями при определенных условиях возможно эффективное совмещение процессов активации и нанесения покрытия в единой технологической операции. Это достигается, например, при использовании циклического напыления на начальной стадии осаждения покрытия или же при проведении этого процесса с предельно низкой скоростью. Увеличение скорости откачки и прогрев диэлектрика способствуют удалению низкомолекулярных частиц, а соответственно, и увеличению адгезии.

Физико-химические процессы, имеющие место на границе раздела фаз, определяют свойства фор-

мирующей системы, поэтому в направленном воздействии на кинетику и характер их протекания заключается основной принцип создания материалов с заданными эксплуатационными параметрами.

Проведенные комплексные исследования межфазных слоев показали, что практически при всех режимах и методах металлизации в них протекают существенные физико-химические изменения. Методом РФЭС установлены значительные отличия в химическом составе граничных слоев (таблица 1). Полученные данные позволяют заключить, что наиболее глубокие физико-химические процессы в граничных слоях имеют место при ионно-плазменном нанесении медного покрытия. В этом случае почти на 30 % возрастает содержание в граничных слоях кислорода, заметно уменьшается концентрация углерода. Важным является наличие в поверхностном слое железа, которое внедрилось в него в процессе травления меди в растворе.

Таблица 1 – Состав поверхностных слоев материала СТАП после его металлизации и травления медного покрытия

Способ металлизации	Элементарный состав, %			
	C	O	N	Fe
Исходная поверхность (без металлизации)	83,5	15,4	1,2	0
Термический	82,7	15,5	0,9	0,9
Ионно-плазменный	77,7	20	1,4	0,9
Электродуговой	82,2	15,7	1,8	0,3

Отсутствие железа на поверхности исходного стеклопластика, который также обрабатывался в растворе  $FeCl_3$ , свидетельствует о том, что, по видимому, железо находится в связанном состоянии и его закрепление в поверхностном слое происходит в результате протекания реакций замещения. Этот вывод подтверждают данные, полученные методом РФЭС, указывающие, что железо находится в окисленном состоянии (в виде оксида и гидроксида) и его концентрация зависит от способа металлизации.

О существенном влиянии диффузионных процессов на структуру граничного слоя свидетельствуют данные ВЭМС поверхностных слоев. Установлено, что на поверхности медных покрытий толщиной 0,1 мкм содержатся низкомолекулярные частицы эпоксидного связующего. Наименьшее загрязнение поверхности покрытия имеет место при термическом методе его нанесения, наибольшее – при дуговом распылении металла. При этом степень загрязнения коррелирует с данными о морфологических изменениях граничных слоев полимерной подложки в процессе металлизации [6, 7].

Установлено, что модифицированный граничный слой диффузионной природы имеет толщину 1,5–2 мкм. Снижение интенсивности пика  $Cu$  в ВЭМС спектре наблюдается только при расстоянии от поверхности  $\sim 1,1$ – $1,2$  мкм. При больших расстояниях от поверхности медь в объеме полимера находится только в виде химического соединения.

Методом растровой электронной микроскопии определены морфологические особенности поверхностей разрушения при различных методах металлизации. При ионно-плазменной металлизации реализуется наиболее высокий уровень адгезионной прочности, и разрыв соединения имеет когезионный характер, протекает по слабому граничному слою.

Менее выраженный когезионный характер разрушения наблюдается при разрыве соединений, полученных электродуговым напылением. Значительная часть медной пленки на контактной поверхности после разрыва не содержит диэлектрик (он не выявлен методом электронной микроскопии), а на поверхности основы четко проявляется характерный рельеф, обусловленный наличием капельной фазы в падающем атомном потоке и их силовым воздействием на поверхность подложки. Вместе с тем на поверхности диэлектрика обнаружены микроучастки, содержащие медь, что свидетельствует о возможности образования в локальных участках достаточно сильных адгезионных связей и прочного граничного слоя полимера.

Результаты исследования поверхностных слоев контактирующих материалов методом ВЭМС подтвердили, в основном, данные электронной микроскопии. В частности, показано, что при всех методах металлизации нельзя говорить о чисто адгезионном разрушении соединения: на поверхности диэлектрика обнаружена медь, а на медной пленке – пики, характерные для эпоксидного связующего. Характерным является различие масс-спектров соединений, полученных разными методами металлизации, что подтверждает вывод о протекании специфических межфазных процессов в граничных слоях и их зависимости от параметров осаждаемого потока частиц. О том, что протекающие межфазные физико-химические процессы локализованы в тонких слоях, свидетельствуют и различия в спектрах ВЭМС, полученных для сопряженных поверхностей. Только при термическом нанесении меди на поверхности пленки металла и диэлектрика соотношение пиков вторичных ионов для этих двух случаев близко и соответствует спектру исходного материала. При других методах металлизации различия в спектрах ВЭМС сопряженных поверхностей существенны, и их анализ показывает, что слой, по которому протекает разрушение, является сильно карбонизированным и содержит значительное количество меди. Толщина модифицированного слоя, по которому протекает отслаивание медного покрытия, составляет 100–150 нм.

На основании результатов исследования структуры и свойств граничных слоев, особенностей протекания в них физико-химических процессов при различных методах металлизации предложены технологические рекомендации, определены оптимальные режимы проведения отдельных стадий вакуумной металлизации [1, 8–10].

В результате анализа требований, предъявляемых к технологии и оборудованию для металлизации рулонного материала, физико-химических процессов, протекающих в граничных слоях стеклотекстолита при металлизации различными методами, произведен выбор технологической схемы процесса и разработано техническое задание на конструирование и изготовление оборудования. Расчеты показывают, что для рулонных материалов толщиной меньше 90 мкм целесообразно использование установок периодического действия. При большей толщине материала более эффективно применение вакуумных линий металлизации, работающих по схеме воздух–шлюз–вакуум–шлюз–воздух. Линия должна иметь модульную структуру и включать, как правило, два и более резервных функциональных блока практически по всем основным технологическим операциям, что позволяет эффективно использовать оборудование, осуществлять одновременно с процессом нанесения ремонтные и профилактические работы.

Модификация машиностроительных материалов методом обработки в среде полимеризующихся газов относится к числу процессов, не нашедших широкого применения, однако ее применение позволяет реализовать комплекс высоких служебных свойств, принципиально не достижимых другими методами обработки [11–16].

Установлено, что качество обработки зависит от параметров генерации активной газовой фазы [12, 13]. Показано, что генерация активной газовой фазы электронно-лучевым диспергированием таких полимеров, как полиэтилен, полиуретан имеют особенности, заключающиеся прежде всего в проявлении нестационарности процесса даже на поздних его стадиях, нарушении линейности зависимости скорости диспергирования от мощности потока электронов, характерных для диспергирования политетрафторэтилена. Кинетические особенности диспергирования этих полимеров объясняются тепловым действием потока электронов, образованием в поверхностном слое газовых пузырей из летучих продуктов разрушения и их последующим схлопыванием на поверхности. Давление в пузыре составляет 1...10 Па, при котором длина свободного пробега молекулярных фрагментов значительно ниже размера пузыря и составляет  $10^{-5} \dots 10^{-6}$  м. Поэтому в объеме таких образований в результате неупругих столкновений протекают процессы полимеризации и образуются достаточно большие по размеру частицы полимера. Это подтверждается данными электронно-микроскопических исследований морфологии образующихся покрытий. При осаждении покрытий из продуктов диспергирования ПУ на поверхности формируются сфероподобные частицы, имеющие примерно одинаковый размер.

Определено влияние различных методов активационной обработки полимерных материалов (резин, полиэтилена, полиимида) на их адсорбционные свойства, оцениваемые по значению поверхностной энергии, ее полярной и дисперсионной составляющих, и установлены оптимальные режимы ее проведения. Показано, что наиболее значительное повышение поверхностной энергии наблюдается при обработке в плазме и в сочетании этой обработки с ультразвуковой очисткой. При воздействии на поверхность резины ионов азота происходит монотонное снижение поверхностной энергии за счет резкого уменьшения полярной составляющей (дисперсионная составляющая значительно возрастает) [17].

Проблема повышения эксплуатационных свойств композиционных материалов, слоистых систем может быть решена только в случае разработки достаточно эффективных методов усиления межфазного взаимодействия. Поэтому работы, проведенные в этом направлении, являются актуальными и важным как в прикладном, так и научном аспекте.

Как показали исследования, определённый резерв в повышении прочности адгезионных соединений заключается в использовании промежуточных полимерных слоев, оптимизации технологических режимов их формирования. Применение технологии плазмохимического аппретирования поверхности, методов осаждения слоев из активной газовой фазы открывает новые возможности в управлении межфазными процессами. Анализ основных относительно элементарных стадий осаждения, протекающих физико-химических процессов позволяет условно разделить возможные методы модифицирования на две группы в зависимости от характера технологических приёмов, с помощью которых осуществляется изменение структуры и свойств ТПС. К первой группе можно отнести методы, реализующиеся на стадии осаждения ТПС, образования активной газовой фазы и её взаимодействия с подложкой. В числе наиболее эффективных приёмов необходимо отметить активационную обработку поверхности подложки, осаждение комбинированных и многослойных покрытий, осуществление возможности химической и плазмохимической сшивки макромолекул слоя, формирование слоя в условиях ионного перемешивания и др. [18].

Схожие по своей природе с описанными выше процессы протекают и при последовательном осаждении слоев, которое производится в едином технологическом цикле путём замены газовой фазы. При этом важным является обеспечение взаимной диффузии кинетических элементов, которая необходима для получения высокой межслойной адгезии. В ряде случаев, например, при формировании слоев кремнийорганических полимеров и политетрафторэтилена, образование значительного диффузионного слоя не происходит из-за ограниченной взаимной раство-

римости макромолекул. Для таких систем можно рекомендовать проведение процесса осаждения слоев с перекрытием по времени, т.е. когда окончание формирования первого слоя и начало осаждения второго осуществляются одновременно. Данный метод реализуется на практике достаточно просто и в сочетании с последующей термообработкой является перспективным.

Показано, что значительное усиление когезионной прочности ТПС может быть достигнуто при введении в газовую фазу химически активных низкомолекулярных продуктов, роль которых заключается в осуществлении процесса сшивки макромолекул, усилении межмолекулярного взаимодействия в результате повышения полярности макромолекул. Низкомолекулярные соединения адсорбируются на поверхности подложки и участвуют в процессах синтеза в качестве катализатора или же одного из реагирующих веществ. Отметим, что данный подход является в настоящее время практически не изученным. Вместе с тем с его помощью предоставляется возможность активного влияния на структуру и свойства ТПС.

Вторая группа методов модификации ТПС включает технологические приёмы обработки сформированных слоев. Наиболее простым методом из этой группы является термообработка. При нагреве ТПС интенсифицируются диффузионные процессы, происходит релаксация внутренних механических напряжений, протекают реакции рекомбинации радикалов, которые могут приводить к сшивке макромолекул. В результате, как правило, повышаются механические свойства слоев, формируются более равновесные структуры. Если же термообработка проводится ТПС, в состав которых, например, из растворов введены химически активные вещества (пероксиды), то её эффективность значительно возрастает. В ряде случаев такую обработку можно проводить на стадии формирования адгезионного соединения, что весьма технологично. Во время термообработки интенсифицируются процессы сшивки, химического взаимодействия и, как следствие этого, улучшаются свойства ТПС.

Показано, что эффективность использования плазмохимической обработки в среде полимеризующихся газов определяется оптимальным выбором химического состава среды, физико-химическим состоянием поверхностных слоев, условиями и режимами проведения отдельных стадий процесса модификации, а также предварительным модифицированием металлической подложки. Для всех видов покрытий обязательным является требование хорошей адгезии к покрываемой поверхности. Если же это условие не достигается, то применяется промежуточное покрытие (грунтовка, нанесение праймера и т. д.). Значительное усиление прочности соединения в системе П-ТПС-Ме возможно при обработке ТПС в присутствии источников свободных радикалов (пе-

роксидов). Использование предварительного модифицирования с использованием источника свободных радикалов (пероксид дикумила) позволило повысить прочностные характеристики адгезионных соединений в 1,3–1,5 раза по сравнению с системой, где такая обработка не производилась.

На основании полученных результатов разработан ряд частных технологий поверхностной обработки машиностроительных материалов, нанесения функциональных покрытий, проведена оптимизация основных технологических параметров. В частности, предложена технология, определены оптимальные режимы и условия металлизации стеклопластиков, полиимидных пленок и других материалов. Проведенные исследования позволили разработать технологические рекомендации по активационной обработке полимеров перед металлизацией. Показана эффективность плазмохимической обработки полимерных материалов и установлены закономерности генерации активной газовой фазы, предварительной активационной обработки поверхностей и технологические особенности нанесения функциональных полимерных покрытий.

#### Список литературы

- 1 *Липин Ю. В., Рогачев А. В., Сидорский С. С., Харитонов В. В.* Технология вакуумной металлизации полимерных материалов. Гомель: БИТА, 1994. – 206 с.
- 2 *Рогачев А. В., Сидорский С. С.* Физико-химические особенности вакуумной металлизации полимерных материалов//Вакуумная металлизация: Сб. – Харьков: ННЦ ХФТИ, 1996. – С. 42.
- 3 *Сидорский С. С.* Формирование адгезионных соединений при вакуумной металлизации полимеров//Физика и технология тонкопленочных материалов: Сб. науч. ст. – Гомель: БелГУТ, 1996. Вып. 3. С. 19–21.
- 4 *Сидорский С. С., Рогачев А. В.* Совершенствование технологии активационной обработки полимеров при их вакуумной металлизации//Физика и технология тонкопленочных материалов: Сб. научн. ст. – Гомель: БелГУТ, 1994. Вып. 2. С. 11–15.
- 5 *Сидорский С. С., Рогачев А. В., Казаченко В. П.* Морфология, структура и свойства граничных слоев, образующихся при вакуумной металлизации стеклопластиков //Полимерные композиты–2000. Гомель, 2000. С. 49–50.
- 6 *Сидорский С. С.* Физико-химические основы вакуумной металлизации стеклопластиков//Композиционные материалы в машиностроении: Материалы 20-й Междунар. конф. Киев, 2000. С. 115–116.
- 7 *Сидорский С. С.* Совершенствование технологии вакуумной металлизации полимерных материалов// Ресурсосберегающие экотехнологии: возобновление и экономия энергии,

сырья и материалов: Тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. Гродно: ГОБИТА, 2000. С. 82–83.

8 *Сидорский С. С., Рогачев А. В.* Моделирование межфазных процессов при формировании композиционных материалов//Полимерные композиты-95: Сб. Гомель: ИММС НАНБ, 1995. С. 8.

9 *Сидорский С. С., Рогачев А. В.* Оптимизация технологических режимов вакуумной металлизации полимерных материалов//Материалы и технологии-2000: Тезисы докладов 4-й Республиканской науч.-техн. конф. Гомель: ИММС НАНБ, 2000. С. 38–39.

10 *Понов А. Н., Казаченко В. П., Рогачев А. В., Сидорский С. С.* Повышение износостойкости поверхностей трения путем нанесения многослойных покрытий//Трение и износ. 2001. Т. 22. № 3. С. 317–321.

11 *Рогачев А. В., Сидорский С. С., Саркисов О. А., Казаченко В. П.* Достижение и перспективы поверхностной обработки полимерных материалов//Инженерия поверхности и реновация изделий: Материалы Междунар. науч.-техн. конфер. Киев, 2001. С. 215–217.

12 *Рогачев А. В., Егоров А. И., Казаченко В. П., Сидорский С. С.* Влияние технологических режимов электронно-лучевого диспергирования политетрафторэтилена на скорость роста покрытий из газовой фазы//Материалы, технология, инструмент. 2000. Т. 5. № 2. С. 77–80.

13 *Rogachev A. V., Kazachenko V. P., Sidorski S., Egorov A. I.* Regularities of Polytetrafluoroethylene Dispersion by a Flow of Electrons and its Regime Effect on Reactivity of Resultant Volatile Product's// Plasma Physics and Plasma Technology, 2000, IMAP, v. 2, p. 720–723.

14 *Rogachev A. V., Kazachenko V. P., Sidorski S., Egorov A. I.* Regularities of Polytetrafluoroethylene Dispersion by a Flow of Electrons and its Regime Effect on Reactivity of Resultant Volatile Product's// Plasma Physics and Plasma Technology, 2000, IMAP, v. 2, p. 720–723.

15 *Рогачев А. В., Сидорский С. С.* Достижения и основные направления совершенствования плазмохимических технологий//Актуальные проблемы развития транспортных систем и строительного комплекса: Труды Междунар. науч.-техн. конф. Гомель: БелГУТ, 2001. С. 95–96.

16 *Сидорский С. С., Рогачев А. В.* Ресурсосберегающие технологии поверхностной обработки полимерных материалов//Современные проблемы машиноведения. Гомель: ГГТУ, 2000. С. 28–32.

17 *Сидорский С. С., Рогачев А. В., Петров С. В., Щепров А. В.* Влияние обработки резин в активной газовой фазе на их триботехнические свойства//Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения. – Мн., 2001. С. 231–324.

18 *Рогачев А. В., Саркисов О. А., Казаченко В. П., Сидорский С. С.* Влияние ионной обработки полимерных материалов на их поверхностные свойства //Полимерные композиты-2000. Гомель, 2000. С. 48–49.

Получено 05.11.2001

**S. S. Sidorsky.** The technologies of saving energy and resources of the surface modifying of machinebuilding polymer materials.

The analysis of the peculiarities of realisation of the main stages of vacuum metallisation processes, plasmochemical treatment of polimer materials is given and recommendations concerning their practical application are also given attention to.